

УДК 621.318.4

Анна Яськів

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОГО КЛЮЧА НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНОГО МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ЙОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Запропоновано нову математичну модель силового ключа на основі високочастотного магнітного підсилювача (ВМП), яка дозволяє його моделювання в системах автоматизованого проектування (САПР) електричних кіл.

Ключові слова: математична модель, ключ на основі високочастотного магнітного підсилювача, САПР, магнітний гістерезис, комп'ютерне імітаційне моделювання.

Anna Yaskiv

MATHEMATICAL MODEL OF A MAGNETIC AMPLIFIER SWITCH FOR ITS COMPUTER SIMULATION

New mathematical model of magnetic amplifier (MagAmp) switch is suggested. It allows MagAmp switch modeling in computer aided design (CAD) programmes for electric circuits.

Keywords: mathematical model, magnetic amplifier switch, CAD programme, magnetic hysteresis, computer simulation.

У джерелах вторинного електроживлення (ДВЕЖ) з високим рівнем струму навантаження та багатоканальних ДВЕЖ як комутаційні елементи використовують високочастотні магнітні підсилювачі (ВМП) на основі аморфних магнітом'яких сплавів з прямокутною петлею гістерезису. Однак, процес проектування таких ДВЕЖ не є повністю автоматизованим. ВМП є магнітним компонентом з нелінійними властивостями. САПР для комп'ютерного імітаційного моделювання електричних кіл не призначені для розрахунку магнітних полів. Математичні моделі магнітного гістерезису [1-3], котрі використовуються в САПР для магнітних компонентів, відзначаються високою обчислювальною складністю[4-6].

Для вирішення проблеми інтеграції моделі компонента з магнітним гістерезисом в САПР перетворювачів електроенергії запропоновано нову модель силового ключа на основі ВМП, що ґрунтується на використанні функції, яку можна генерувати з допомогою цифрових технологій. Структуру моделі запропоновано представити у вигляді системи, що описується різницею рівнянням другого порядку і в часовій області має наступний вигляд [7]:

$$b_2 g_{n-2} + b_1 g_{n-1} + g_n = y_n, \quad (1)$$

де $n \triangleq nT_d$, T_d – період дискретизації, $n=0,1,2,3,\dots$, $b_2=-r^2$, $b_1=2r\cos(\omega T_d)$, g_{n-1} , g_{n-2} — початкові умови.

Для функції \sin , коли $b_2=1$, $y_n=0$ система стає генератором синуса частотою $\omega/2\pi$. Цифровий генератор синуса, що складається з дискретних цифрових компонентів, який запропоновано використати для моделювання силового ключа на основі ВМП описано у [8]. Це – прототип структури запропонованої моделі. Хоча первинним призначенням такої структури є генерація синуса, тут пропонується застосувати її як цифрову

обчислювальну модель напруги та струму ВМП. При певних значеннях коефіцієнтів b_1 та b_2 , вона може моделювати нелінійні властивості силового ключа на основі ВМП:

$$g_{n+1} > g_n : \begin{cases} H_n = \overline{H_{\min}}, H_{\min} + 2H_c, B_n = B_{\min}, \\ H_n = \overline{H_{\min} + 2H_c}, H_{\max}, B_n = k \sin(2\pi f n T_d + \varphi_1), \end{cases} \quad (2)$$

$$g_{n+1} < g_n : \begin{cases} H_n = \overline{H_{\max}}, H_{\max} - 2H_c, B_n = B_{\max}, \\ H_n = \overline{H_{\max} - 2H_c}, H_{\min}, B_n = k \sin(2\pi f n T_d + \varphi_2), \end{cases} \quad (3)$$

де $n = \overline{1, N}$ — індекс цифрових кодів електромагнітних змінних. H_{\min} , H_{\max} — відповідно мінімальне та максимальне значення напруженості магнітного поля. H_c — коерцитивна сила. B_{\min} , B_{\max} — відповідно мінімальне та максимальне значення магнітної індукції. З метою спрощення у цій моделі зроблено припущення, що магнітна індукція насичення $B_s = B_{\max}$, тоді як в реальних фізичних системах B_{\max} зазвичай дорівнює значенню магнітної індукції при $H = 5H_c$ [9].

Оскільки фільтр складається з цифрових компонентів, його можна легко змоделювати в середовищі будь-якої САПР перетворювачів електроенергії без потреби у додаткових інтеграціях. Більш того, цифрова природа моделі усуває труднощі з моделюванням високочастотних магнітних полів. Силові ключі на основі ВМП часто працюють з високими струмами (часто понад 10 А). Хоча жоден реальний цифровий компонент не функціонує при таких рівнях струму, параметри моделі цифрового фільтра в САПР легко масштабувати з метою відображення реальних значень модельованих величин.

Література

1. Татевосян А. С. Экспериментальное исследование и расчет магнитного поля электромагнита постоянного тока с расщепленными полюсами и полюсными наконечниками в комплексе программ ELCUT [Текст] / А. С. Татевосян, А. А. Татевосян, и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2016. - Т.327, №2. - С. 133-140.
2. Jiles D. C., Atherton D. L. Theory of Ferromagnetic Hysteresis. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1986, Vol. 61, pp. 48–60.
3. Petrescu L., Cazacu E., Petrescu C. Sigmoid functions used in magnetic hysteresis modeling. Proceedings of the 9th International symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE 2005), Bucharest, Romania, 7-9 May 2005, pp.521-524.
4. Poisson equation, solving with DFT. Available at: https://algowiki-project.org/en/Poisson_equation_solving_with_DFT
5. Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / М. А. Красносельский, А. В. Покровский. — Москва: Наука, 1983. — 272 с.
6. Bertotti G., Mayergoyz I. The Science of Hysteresis. Volume 1. Mathematical Modeling and Applications. Elsevier Inc., 2006, 751 p., ISBN: 0-1248-0874-3.
7. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина I / Б. І. Яворський. — Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя, 1996. — 184 с.
8. Авторское свидетельство СРСР № SU1092516А, МПК G06F 17/10, G06F 1/02. Цифровой генератор синуса [Текст] / Яворский Б. И., Гудз И. С. - №3372245; заявл. 28.12.1981 г.; опубл. 15.05.1984 г.
9. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрические аппараты» [Текст] / Шопэн Л. В. - М.: Энергия, 1967. — 568 с.